

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Strojírenství

Materiály a technologie
zaměřením tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů

Vliv nastavení ohraňovacího lisu na tvar výlisku

Effect of setting press brake to the shape of item

Petr Horák

KSP - TP - B

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*

Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 40

Počet tabulek: 7

Počet příloh: 3

Počet obrázků: 21

Datum: 24. 5. 2013

A N O T A C E

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI **Fakulta strojní**

Katedra strojírenské technologie **Oddělení tváření kovů a plastů**

Studijní program: B2341 - Strojírenství

Student: Petr Horák

Téma práce: Vliv nastavení ohraňovacího lisu na tvar výlisku
Effect of setting press brake to the shape of item

Číslo BP: KSP - TP - B

Vedoucí BP: Ing. Pavel Solfronk, Ph.D. - *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Pavel Doubek, Ph.D. - *TU v Liberci*

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá zkoušením správné funkce bombírovacího stolu u ohraňovacího lisu APHS 2104 x 60 od výrobce Baykal, kterým nově disponují laboratoře Technické univerzity v Liberci. Výsledkem experimentální části bude zhodnocení hledání optimálního nastavení bombírovacího stolu, tak aby byl zaručen konstantní úhel při ohýbání po celé pracovní délce stolu stroje.

Abstract:

The thesis is focused on testing a correct function of a crowning table press brake APHS 2104 x 60 manufactured by Baykal, which have been recently used at laboratory of Technical university of Liberec. The results of the experimental part is going to be searching for optimal settings of the crowning table in order to guarantee a constant angle while bending over the entire working width of the machine table.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 24. 5. 2013

.....

Petr Horák

Chorušická ul. 128

277 38 Mělnické Vtelno

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali v tvorbě této bakalářské práce. Jmenovitě panu Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. za jeho odbornou pomoc, trpělivé vedení a množství cenných připomínek. Dále patří poděkování celé mé rodině a přátelům za podporu během doby mého studia.



OBSAH:

1.Úvod	9
2. Teoretická část	10
2.1 Tváření kovů	10
2.1.1 Tváření za studena	10
2.2 Ohýbání	11
2.2.2 Neutrální osa	12
2.2.3 Odpružení	13
2.2.4 Výpočet sil	14
2.2.5 Technologické problémy ohýbaných součástí	15
2.3 Ohraňování	16
2.3.1 CNC ohraňovací stroje	17
2.3.1.1 Programování CNC lisů	18
2.3.1.2 Bezpečnost	19
2.3.1.3 Nástroje pro ohraňovací lisy	19
2.4. Bombírování	20
2.4.1 Drážkové bombírování	20
2.4.2 Hydraulické bombírování	21
2.4.3 Klínové bombírování	21
2.4.4 Inteligentní bombírovací systém RAS	22
2.4.5 Bodové bombírování	23
2.4.6 Dodatečně montované bombírovací stoly	23
3. Experimentální část	24
3.1 Ohraňovací lis APHS 2104 x 60	25
3.1.1 Vybavení stroje	26
3.1.2 Programování ohybu	26
3.1.3 Manuální bombírování lisu APHS 2104 x 60	27
3.2 Ohýbaný materiál	27
3.2.1 Chemické složení	28
3.2.2 Statická zkouška tahem	28
3.3 Příprava ohýbaných vzorků	29
3.4 Zjištění jednotek na stupnici bombírovacího stolu	29
3.5 Ohýbání plechu	30



3.6 Měření úhlů a ostatních rozměrů	31
3.6.1 Měření vzorků v programu NIS-Elements AR	32
3.6.2 Naměřené hodnoty	33
3.7 Zhodnocení měření	36
4. Závěr	37
Seznam použité literatury	38
Seznam příloh.....	40

Seznam použitých zkratk a symbolů

b	[mm]	Šířka materiálu
t	[mm]	Tloušťka materiálu
ρ	[mm]	Poloměr ohybu neutrální osy
R	[mm]	Poloměr ohybu
x	[-]	Součinitel posunutí neutrální osy
α	[°]	Úhel ohybu
γ	[°]	Úhel odpružení
A	[W]	Práce
F_{\max}	[N]	Maximální ohýbací síla
l	[mm]	Vzdálenost podpěr
R_m	[MPa]	Mez pevnosti
h	[mm]	Zdvih
k_1	[-]	Koeficient průběhu síly F
HRC	[-]	Zkouška tvrdosti dle Rockwella
$R_{p0,2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu
A_{50}	[%]	Tažnost vzorku délky 50 mm



1.Úvod

Výroba různých dílů z plechu se vzhledem k požadované produktivitě provádí z velké části na tvářecích strojích. Na ohraňovacích lisech je dnes možno zhotovit z jednoho kusu plechu široké spektrum dílů, které byly dříve zhotovovány z více ohýbaných kusů a poté například svařeny v jeden konstrukční díl. Výrobce ale potřebuje kromě vysoké produkce a širokého spektra produktů zajistit také jakost výrobků. Na jakost výrobku při ohraňování má vliv mnoho faktorů. Přes požadovanou kvalifikaci pracovníků, zvolení vhodného výrobního postupu a jeho dodržení, určení vhodného polotovaru, po schopnost stroje dosáhnout požadované jakosti na výrobku. Schopnost stroje dosáhnout požadované jakosti výrobku závisí na jeho vlastnostech a příslušenství.

Tato bakalářská práce se bude zabývat především ohraňovacími stroji, které jsou vybaveny schopností bombírování, dále se bude zabývat samotnými bombírovacími systémy. Experimentální část se bude věnovat Ohraňovacímu lisu APHS 2104 x 60 výrobce Baykal, kterým nově disponují laboratoře Technické univerzity v Liberci, a který je vybaven funkcí bombírování. Dále bude zkoušena správná funkce bombírovacího stolu a výsledkem experimentální části by také mělo být zjištění optimálního nastavení bombírování pro zvolené vzorky plechů.

2. Teoretická část

Ohraňování je ve své podstatě určitý druh ohýbání plechů, které probíhá dnes již výhradně na hydraulických ohraňovacích lisech. V teoretické části budou proto popsány nejprve základy tváření za studena, ohýbání a jevy doprovázející ohýbání. Dále budou představeny ohraňovací hydraulické lisy, druhy bombírovacích systémů a jejich funkce.

2.1 Tváření kovů

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil bez odběru třísek. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mez kluzu pro daný materiál. Tento děj je doprovázen fyzikálními změnami a změnami struktury materiálu, což ovlivňuje mechanické vlastnosti materiálu.

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezené rozměry konečného výrobku. [1]

2.1.1 Tváření za studena

Tváření za studena je tváření pod rekrystalizační teplotou, kdy teplota tváření je pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu. Při této teplotě dochází ke zpevňování materiálu, které se zachová a k nárůstu odporu proti dalšímu tváření (nakonec dojde k vyčerpání plastičnosti materiálu), zrna se deformují ve směru tváření, vytváří se textura, dochází k anizotropii mechanických vlastností. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost. Zahřátím kovu je možné obnovit deformační schopnost, kov získává opět schopnost být plasticky tvářen. [1]

2.2 Ohýbání

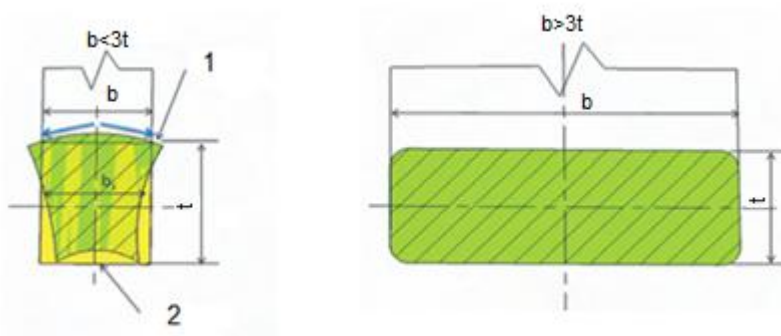
Ohýbání je proces tváření, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran. K ohýbání používáme nástroje - ohýbadla, skládající se z ohybníku a ohybnice. Výrobkem je výlisek, ohybek. Ohnutí tělesa do žádoucího tvaru využívá stejných zákonů plasticity, jako ostatní způsoby tváření. [1]

Překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace, která je doprovázena deformací elastickou. Ohýbání můžeme provádět ručně (na ručních strojích) nebo strojně. Strojní ohýbání se realizuje na lisech pomocí ohýbacího nástroje nebo na ohraňovacích strojích, případně pomocí rotačních nástrojů (válců). Příkladem ohýbání v nástroji s rotačním pohybem jsou technologie profilování nebo zakružování. [2]

Tak, jako většinu tvářecích operací i ohýbání provází některé průvodní jevy.

2.2.1 Deformace průřezu

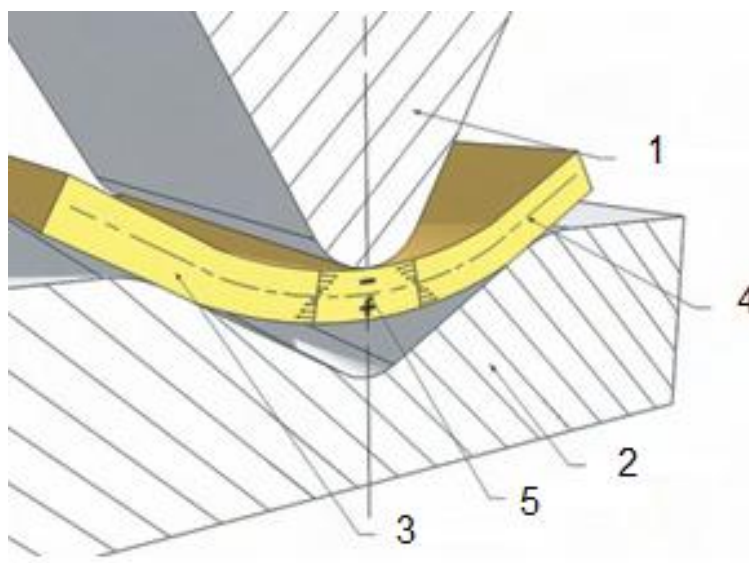
Při ohybu nastává deformace průřezu, vyšší průřezy jsou více deformovány, než průřezy nižší. U širokých pásů ($b \geq 3t$) nedochází k deformaci proto, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce (obr. 2.1). Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány, zkracovány a roztahovány v příčném směru. Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se roztahují a prodlužují v podélném a stlačují se v příčném směru. [1]



Obr. 2.1: Schéma deformace úzkého a širokého polotovaru [2]
1 - profil po ohybu, 2- profil před ohybem

2.2.2 Neutrální osa

Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu daného materiálu. V přechodu mezi těmito dvěma pásmy jsou vlákna bez napětí a bez deformace (obr. 2.2). Jejich spojnice tvoří tzv. *neutrální osu*, ve které není napětí a která se při ohýbání ani neprodlouží ani nezkrátí. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu a není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu. [1]



Obr. 2.2: Princip ohýbání s průběhem napětí na vnější a vnitřní straně mat. [2]
1 - ohybník, 2 - ohybnice, 3 - ohýbaný materiál, 4 - neutrální osa, 5 - průběhy napětí

Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem.

U tenkých plechů není tento rozdíl patrný, ale při ohýbání tlustých plechů se však s tímto musí počítat.

Vztah pro výpočet poloměru ohybu neutrální osy je v rovnici (2.1). [1]

$$\rho = R + x \cdot t \quad (2.1)$$

Kde:

R poloměr vnitřního ohybu [mm]

x součinitel posunutí neutrální osy [-]

t tloušťka materiálu [mm]

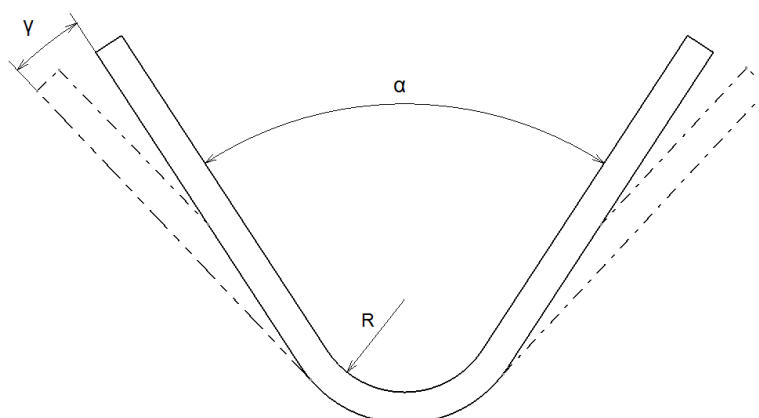
Vzdálenost **x**, která charakterizuje polohu neutrální osy, závisí na poměru **R / t** - viz tab. 2.1.

Tab. 2.1: Hodnoty součinitele posunutí neutrální osy [1]

R/t	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	1	1,2	1,5	2	3	4	nad5
x	0,23	0,29	0,32	0,35	0,37	0,38	0,39	0,4	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46	0,47	0,5

2.2.3 Odpružení

Pominou-li vnější síly na deformované těleso, rozměry tělesa se částečně vrátí do původních, tj. těleso odpruží (viz. obr. 2.3). Odpružení při ohybu se projevuje jako úhlová odchylka γ jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Bývá v rozsahu 3 až 15°. [1]



Obr. 2.3: odpružení materiálu pro ohyb V
 γ - úhel odpružení, α - úhel ohybu, R - poloměr ohybu

Odpružení lze obecně korigovat či eliminovat různými metodami. Běžně užívanými postupy jsou následující:

Ohýbaný materiál se přetvoří navíc o hodnotu úhlu odpružení, který se určí podle empirických vzorců nebo z tabulek. Nástroj se musí navrhnout s korekcí o úhel γ , má-li mít výlisek požadovaný tvar. Samotným odpružením se výlisek dostane do očekávaného tvaru.

Použije se *kalibrace*, tj. zvětší se lisovací síla na konci lisovacího cyklu, dochází k místní plastické deformaci v místě ohybu a hodnota odpružení se snižuje, až případně vymizí úplně.

Použije se prolisů na výlisku, kdy se odpružení odstraní téměř úplně. [2]

2.2.4 Výpočet sil

Mezi základní rozdělení ohýbání patří ohyb do tvaru „V“ a „U“. V následujícím textu je rovnice pro výpočet síly (2.2) a práce (2.3) pro "V" ohyb.

Ohýbaný výrobek se považuje za nosník o dvou podpěrách zatížený silou uprostřed obou podpor. [2]

$$A = F_{\max} \cdot h \cdot k_1 \quad (2.2)$$

$$F_{\max} = \frac{b \cdot t^2}{l} R_m \quad (2.3)$$

Kde:

F_{\max}	maximální ohýbací síla	[N]
b	šířka polotovaru	[mm]
l	vzdálenost podpěr	[mm]
t	tloušťka polotovaru	[mm]
R_m	mez pevnosti materiálu	[Mpa]
h	zdvih (koncová poloha)	[mm]
k_1	koeficient průběhu F ($k_1 = 1/3$)	[-]

2.2.5 Technologické problémy ohýbaných součástí

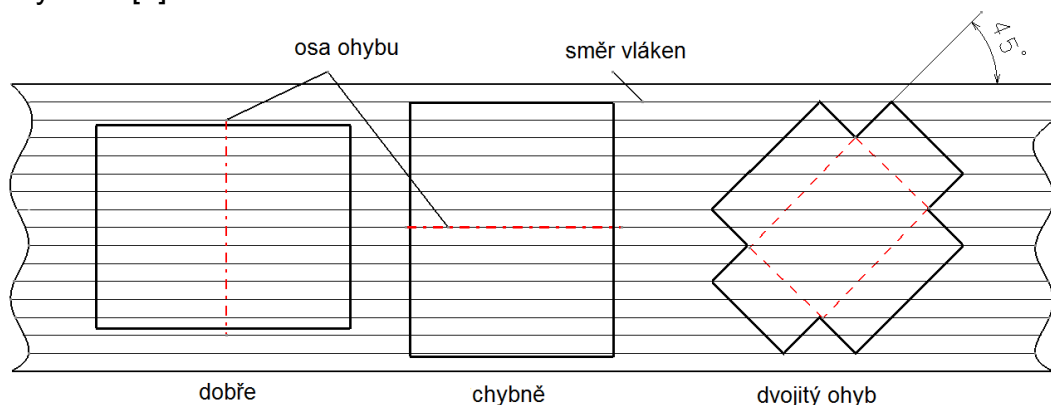
Při ohýbání materiálu mohou kromě již zmíněných problémů, jako byla deformace průřezu a odpružení materiálu, nastat další problémy, mezi něž patří praskání materiálu a tvoření vln.

K praskání materiálu (vznik trhlin na vnější straně) dochází v okamžiku, kdy dojde k překročení kritické hodnoty poloměru ohybu r / t což může být způsobeno zpevněním materiálu, stavem materiálu (žíhaný, tvářený za studena apod.) nebo průběhem vláken. Osa ohybu by proto měla být kolmá na směr vláken (odpružení je ale větší) nebo minimálně 30° . Polotovary připravované stříháním mívají na střížných plochách otřep. Proto je nutné dbát na umístění přístřihu do nástroje a s respektováním tohoto otřepu nebo je ho nutné odstranit.

Při návrhu ohýbaných dílů je nutné respektovat požadavky na hodnoty poloměrů ohybu. Poloměr ohybu musí být alespoň takový, aby v krajních vláknech nedošlo k překročení meze kluzu (aby došlo k plastické deformaci). Poloměr nesmí však být příliš malý, aby deformace krajních vláken nepřekročila hodnotu meze pevnosti. Poloměr ohybu se má volit z hlediska odpružení co nejmenší, ale vzhledem k tvárnosti a tloušťce ohýbaného dílu co největší. Jinak může docházet k destrukci v ohýbaném průřezu.

Obecně se součásti vyráběné technologiemi stříhání nebo ohýbání vyznačují malou tuhostí. Tuhost součástí je možné zvýšit technologickými prvky, jako jsou prolisy či dodatečná ohnutí. [2]

Tvoření vln vzniká hlavně u tenkých stěn, čemuž lze zabránit bočním přitlačováním materiálu k nástroji nebo použitím dodatečné tahové síly při ohýbání. [1]



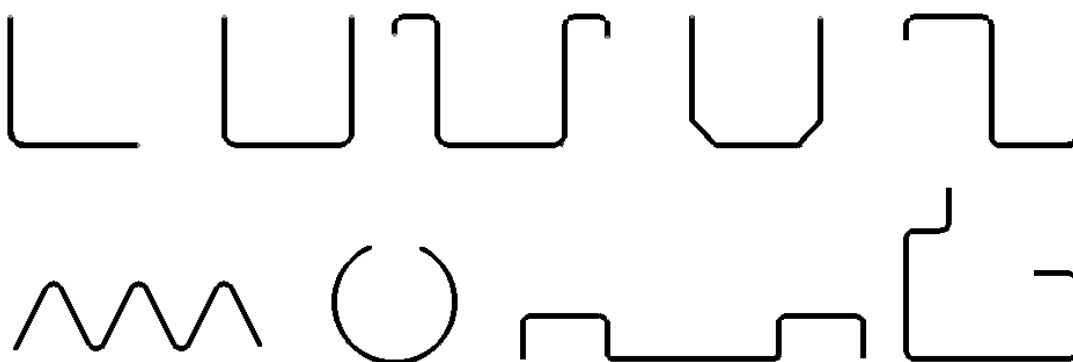
Obr. 2.4: Vliv vláken na ohýbání

2.3 Ohraňování

Ohraňováním se nazývá ostré ohýbání plechu v různých úhlech. Ohraňuje se ručně nebo na ohraňovacích lisech. Ohraňovací lisy jsou v podstatě mechanické lisy a jsou určeny ke tvarování rozměrnějších polotovarů.

Způsob práce je podobný jako s nástroji u mechanických lisů. Nástroje jsou však jednodušší a mají univerzální použitelnost.

Součást s více různými ohyby je zhotovena postupně v technologickém sledu operací, kdy dochází k otáčení spodní lišty mezi jednotlivými operacemi nebo jsou lišty vyměňovány. Ohraňování se uplatňuje zejména při tváření pásů plechu do tvaru profilů – jde většinou o ohyb ostrý ($R / t < 6$). Různé tvary se tvoří kombinací ohybu geometrie V a U. [3]



Obr. 2.5: Ukázka výsledných tvarů ohýbaných součástí.

2.3.1 CNC ohraňovací stroje

Základem stroje je ocelový svařenec s předem vyrovnanými pláty a se stabilizovaným pnutím materiálu žíháním svařence. Vysoká tuhost konstrukce zajišťuje vysokou přesnost v ohybu. Stroj je osazen dvěma elektrohydraulickými válci na každé straně se zpětnou vazbou. Stroj je možné osadit až osmi řízenými osami. Horní a spodní nožní pedál je používán pro pohyb beranu nahoru nebo dolů.

Razník je připevněn k hornímu beranu adaptéry nebo hydraulickými upínkami, které umožňují jednoduchou montáž i demontáž razníku. Matrice je připevněna na základové rovné desce pomocí úhelníkových upínek, zaručující jednoduchou montáž i demontáž.

Úhel ohýbaného plechu závisí na tlačné síle mezi razníkem a matricí, která je vyvolána sjezdem horního beranu. Úhel je regulován délkou sjezdu horního beranu a tím vytváří tlačnou sílu. Horní beran je zvedán nebo spouštěn dolů pomocí hlavních válců umístěných na pravé a levé straně.

Ohýbaný úhel je nastavován pravým a levým servo-válcem, které mohou být kontrolovány nezávisle na naklonění horního beranu. Tato naklápěcí funkce dovolí odlišnosti úhlu na pravé a levé straně stroje. Plech může být stlačován znovu a znovu, dokud není dosažen požadovaný úhel (málokdy se podaří nastavit úhel přesně napoprvé, protože vznikají malé nepřesnosti nástrojů postupným používáním, což může vést k nepřesnosti až několika stupňů, např. úchylka 1/100mm na nástroji vede ke kolísání úhlu $\pm 1^\circ$). Při stlačení lze stroj pozastavit v aktuální pozici a to uvolněním nožního pedálu a upravením korekce úhlu a poté znovu sešlápnutím pedálu stroj dojde do pozice nastavené v probíhaném procesu ohýbání. Velikost ohýbaných součástí je omezena velikostí stroje, výškou horních i spodních nástrojů a konstrukcí stroje.

Stroje pracují se třemi pracovními režimy:

Ruční režim: ovládání stroje probíhá pomocí ručního ovladače přímo spojeného s obrazovkou a programem. Nejčastěji se ruční režim používá pro vycentrování nástrojů a případně k výrobě složitějších součástí, které se pouze předešlými z důvodu kolize se strojem.

Poloautomatický režim: vhodný pro nastavení, poněvadž lze v tomto režimu upravovat korekce nastavení.

Automatický režim: používá se při sériové a malosériové výrobě, pokud už máme stroj správně nastaven, ale pro případnou změnu programu se musíme vrátit zpátky do poloautomatického režimu. [3]



Obr. 2.6: Ohraňovací lis Trumpf TruBend 5230 [7]

2.3.1.1 Programování CNC lisů

Programování CNC ohraňovacího lisu probíhá přes obrazovku přímo spojenou se strojem. Program funguje na bázi AutoCadu. Do programu je nutné zadat tloušťku plechu, kód (každý nástroj má svůj vlastní kód) horního a spodního nástroje (pokud by daný materiál nešel ohýbat zadaným nástrojem, tak se na obrazovce objeví chybové hlášení a musí se provést změna některého z nástrojů), dále se zadává uložení matrice (může být umístěna přímo na základové desce, nebo je ještě upnutá na určitém nosníku o různé výšce) a nakonec se vkládají do programu postupně kroky, jak bude součást ohýbána. Může se také nastavit odjezd zadního dorazu, zpoždění zadního dorazu, výška otevření stroje a další vhodné věci, které vedou ke zrychlení strojních časů a zvýšení bezpečnosti obsluhy.

Po zadání všech potřebných parametrů a kroků ohýbání se program přepne do poloautomatického režimu, kde si program spočítá korekce úhlu, dorazů a dalších potřebných údajů na základě zadaných veličin.

V programu lze také součást vymodelovat a zjistit rozvinutou délku polotovaru nebo jaký postup ohýbání zvolit, aby nedošlo ke kolizi a zmetku. Dopomáhá k tomu možnost ukázky simulace přímo na monitoru. [3]

2.3.1.2 Bezpečnost

Ohraňovací lisy patří v dnešní době k nejvytíženějším pracovištím a proto je nutno řešit otázku bezpečnosti. Ani při výrobě s plným vytížením nesmí hledisko bezpečnosti okrádat obsluhu stroje o čas. Proto fungují na ohraňovacích strojích bezpečnostní prvky jednoduchého, ale účinného principu. Například společnost Trumpf osazuje své stroje systémem BendGuard. Dva laserové paprsky, které probíhají pod horním nástrojem, zabezpečují oblast, v níž může hrozit potenciální nebezpečí - mezi horním a spodním nástrojem.

Pokud je některý s laserových paprsků přerušen nějakou překážkou, například rukou obsluhy, stroj se ihned zastaví.

Existuje asi kolem 24 základních bezpečnostních kritérií, které by se měly při práci na ohraňovacím lisu dodržovat, jako je např. správné upnutí horních a spodních nástrojů, správné držení ohýbané součásti, použití tlačítka "stop" atd. [4]

2.3.1.3 Nástroje pro ohraňovací lisy

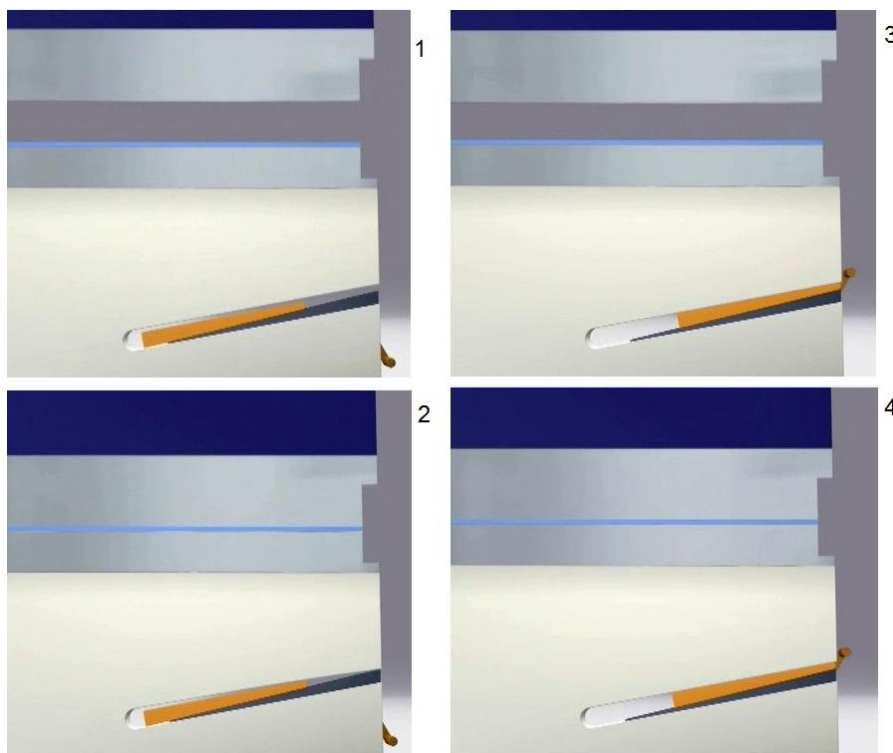
Pro výrobu nástrojů používá prvotřídních materiálů kompetentních dodavatelů. Nástroje se zhotovují z materiálů C45, 42CrMo 4 nebo W1.2311 v závislosti na požadovaném profilu. Nástroje se indukčně kalí na (52-58 HRC), po zpracování se dosahuje vynikající odolnosti proti opotřebení pracovního povrchu nástroje a nástroj zároveň zůstává pružný a odolný v běžném používání. Nástroje se dokončí přesným broušením. Upnutí nástrojů a bezpečnostní drážky se vyrábějí podle standardů různých výrobců. K dispozici jsou rovněž různé adaptéry. Nástroje mohou být buď rozdělené podle standardního dělení, nebo i v souvislé délce, podle zadání. Je možné upravovat katalogové tvary nástrojů jako například poloměr razníků. [5]

2.4. Bombírování

Rovné ohyby jsou nezbytné pro dokonale ohnuté díly. Robustní a pevná konstrukce stroje je největším přispěvatelem při výrobě rovných ohybů. Ohybové síly se významně liší v závislosti na tloušťce materiálu, kvalitě materiálu a délky ohýbaného dílu. Kromě toho deformace v blízkosti bočnice je menší než uprostřed stroje. U strojů jejichž pracovní délka je 2,5 m a více, již ani robustnější konstrukce stroje nezabrání prohýbání beranu, případně stolu stroje a je třeba tyto deformace eliminovat nebo kompenzovat. Kompenzace prohýbání beranu, případně stolu se nazývá bombírování. Bombírovací systémy jsou manuální, které jsou zpočátku nastavování důvodem výroby zmetků, nebo je bombírování automaticky nastaveno CNC programem. [6]

2.4.1 Drážkové bombírování

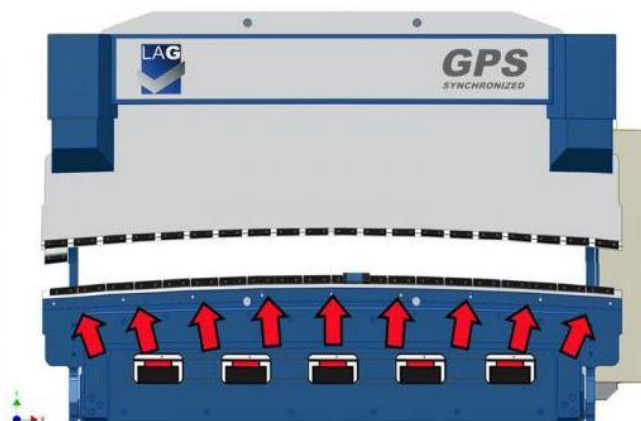
U stroje firmy Trumpf TruBend série 3000 se bombírování aktivuje samo, bez přičinění obsluhy. Stůl stroje při tom samočinně reaguje prostřednictvím bombírovacích drážek na fyzikálně podmíněnou deformaci beranu. [7]



Obr. 2.7: Drážkové bombírování ve čtyřech krocích. [7]

2.4.2 Hydraulické bombírování

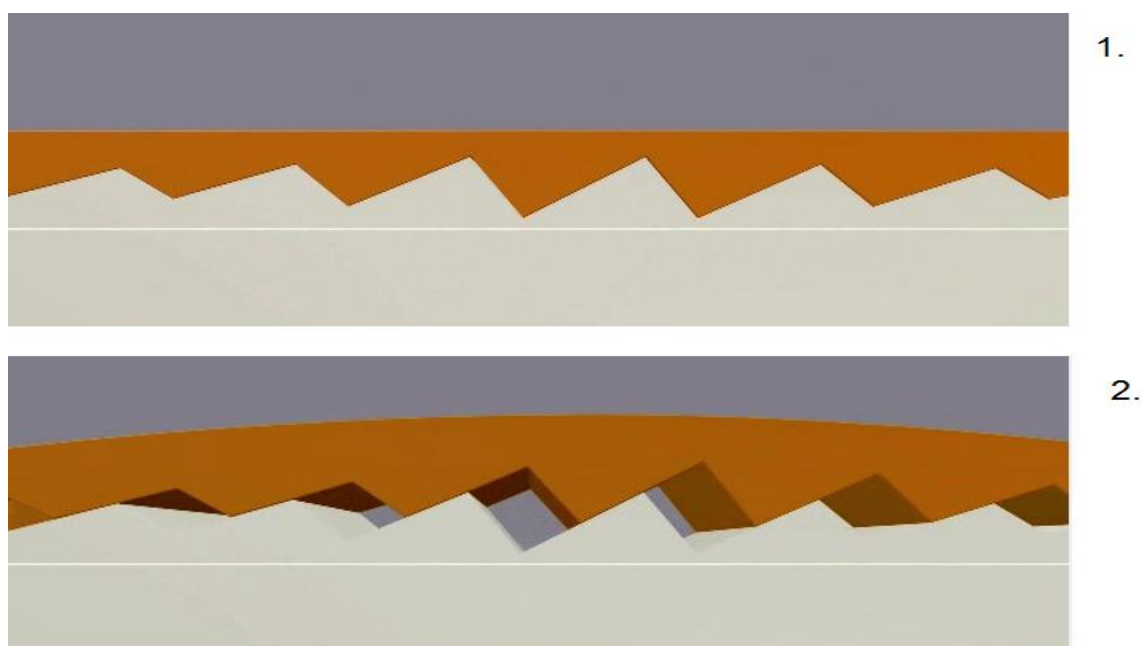
U strojů s délkou přes tři metry doplňují drážkové bombírování přídatné hydraulické válce, zapuštěné do stolu stroje. [7]



Obr. 2.8: Kompenzace průhybu beranu protideformací stolu [8]

2.4.3 Klínové bombírování

Integrované klínové CNC bombírování zajišťuje konstantní ohybový úhel v celé délce stroje. CNC bombírování funguje úplně samostatně a správnou bombírovací hodnotu vypočítává z programových dat. Pohon bombírování je integrován do stolu stroje. Díky tomu zůstává velký volný prostor pro ohraňování na obou stranách stolu. [7]

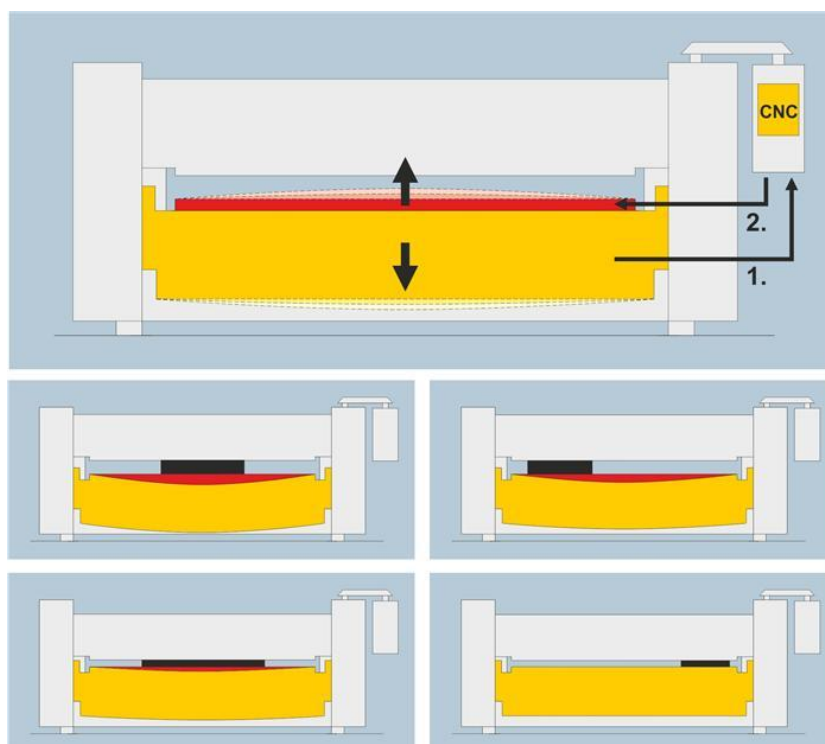


Obr. 2.9: Klínové bombírování [7]

2.4.4 Inteligentní bombírovací systém RAS

Jiné systémy jsou založené na zkušebních ohybech, kde nastavení bombírování je určeno z testovacích ohybů. Operátor zadává změny dat do řídicího systému. Jedná se o tloušťku, pevnost a typ materiálu a o šířku nástroje. Tyto hodnoty nezohledňují rozměr ohybu ani pozici v pracovní délce stroje. Obě tyto hodnoty mají vliv na nastavení bombírování. Větší rozměr ohybu (délka ohýbané části) má větší odpor než ohyb krátký a rovněž proto, že stroj je pevnější blíže ke krajům než v jeho prostředku. RAS Reinhardt Maschinenbau GmbH nabízí patentovaný inteligentní bombírovací systém u své řady ohýbaček FLEXIbend. Integrované senzory měří skutečnou deformaci lišty během prvních pár stupňů pohybu ohýbací lišty. Pomocí získaných informací CNC řízení aktivuje bombírování, které automaticky vyrovnává deformaci lišty v průběhu jejího pohybu. CNC zapíše hodnoty nastavení pro každý ohyb do programu, takže není třeba další měřicí cyklus pro zbývající kusy. Bez testovacích ohybů nebo dalšího programování, vytvoří bombírovací systém dokonale rovné díly. Takže, i když je materiál silný nebo tenký, normální ocel nebo nerezová ocel, krátké nebo dlouhé ohyby, nebo zda ohyb bude prováděn uprostřed stroje nebo na některé ze stran, výsledkem jsou rovné a přesné díly.

[6]



Obr. 2.10: Inteligentní bombírovací systém firmy RAS [6]

2.4.5 Bodové bombírování

Zvláště u dlouhých strojů může být nutné bombírovací hodnoty lokálně přizpůsobovat, aby se realizovala naprosto libovolně probíhající křivka bombírování, např. má-li ohýbaný díl na ohybové hraně vybrání.

Bodové bombírování u stroje TruBend série 8000 řeší přesně tento případ, protože nastaví bombírování ve vzdálenosti 250 mm na vhodnou hodnotu. [7]

2.4.6 Dodatečně montované bombírovací stoly

Každý uživatel hydraulického ohraňovacího lisu pozná problém, když se po vyvinutí lisovací síly zdeformuje horní a dolní beran. K této deformaci dochází úplně přirozeně, protože hydraulické válce přenášející sílu jsou na koncích beranu a ohýbaný výrobek je obvykle ve středu. Horní i dolní beran má tendenci se v tomto místě prohnout a tím je průnik razníku do matrice menší než na krajích. Výsledkem je úhel, který je cca o 3-5° ve středu větší než na koncích.

U starších strojů, nebo strojů, které nedisponují bombírovacími stoly, je možná jejich dodatečná montáž. [9]

Bombírovací stoly mohou být ovládané:

- Manuálně zepředu pomocí stavěcích šroubů
- Manuálně ze strany pomocí kliky
- Motoricky pomocí elektromotoru



Obr. 2.11: Klikou ovládaný bombírovací stůl [10]

3. Experimentální část

Laboratoře katedry strojírenské technologie Technické univerzity v Liberci nově disponují ohraňovacím lisem APHS 2014 x 60 od výrobce Baykal.

Cílem experimentální části této bakalářské práce je zjištění správné funkce bombírovacího stolu a zjištění optimálního nastavení pro zvolené vzorky plechu.

Bombírovací stůl je stůl, na kterém je uložena matrice (spodní nástroj) a který má schopnost kompenzovat prohnutí beranu stroje, čímž je zajištěn konstantní ohybový úhel po celé pracovní délce stroje.

Protože se do řídicího systému stroje před samotným ohýbáním uvádí kromě požadovaného úhlu, tloušťky a délky polotovaru také jeho mechanické vlastnosti, byla provedena statická zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892 - 1.

Po přípravě vzorků stříháním na tabulových nůžkách následovalo zjištění jednotek na stupnici manuálního bombírování u ohraňovacího lisu a následně proběhlo ohýbání všech připravených vzorků na úhel 90° za postupné změny velikosti bombírování.

Všechny ohýbané vzorky byly poté pečlivě změřeny pomocí softwaru NIS-Elements AR, do kterého byly převáděny snímky z metalografického mikroskopu s desetinásobným zvětšením.

Výsledkem práce by měla být zjištěná bombírovací hodnota, která se manuálně nastaví klikou bombírovacího stolu a která zajistí konstantní úhel po celé délce pracovního stolu.

Tyto informace budou sloužit pracovníkům a studentům katedry při práci na ohraňovacím lisu ke snadnějšímu zjištění bombírovacích hodnot při podobných parametrech ohýbání.

3.1 Ohraňovací lis APHS 2104 x 60

CNC hydraulický lis s nezávislými hydraulickými válci. Rám lisu je tvořen kovovým robustním svařencem. Válce jsou umístěny nahoře na bočnicích a jsou řízeny nezávisle. Řídicí systém odečítá polohu pomocí přesných lineárních pravítek HEIDENHEIN nebo GIVI MISURE a ovládá hydraulické proporcionální ventily, které řídí přítok oleje k jednotlivým válcům. Celý systém pohybu beranu pracuje na principu uzavřené regulační smyčky. Ve standardním vybavení je stroj již vybaven základní sadou obsahující horní dělený ohýbací nástroj a spodní multi-matricí. Tyto nástroje typu EUROSTAMP jsou indukčně povrchově kalené a broušené. [11]



Obr. 3.1: Hydraulický lis APHS 2104 x 60

3.1.1 Vybavení stroje

- Řídící systém DELEM DA 56
- Přesné lineární pravítka
- CNC řízený zadním doraz na kuličkových šroubech ve verzi X, X osa – hloubka 650 mm, rychlost 350 mm/s
- Manuální bombírovací stůl WILA
- Dva palcové bloky s mikrometrickou kalibrací
- Posuvné přední podpěry
- Dvouruční ovládací pedál
- Horní dělený ohýbací nástroj 88°
- Spodní multi-matrice
- Stroj je vybaven nástroji BAYKAL
- Manuální rychloupínání horního nástroje
- Manuál pro obsluhu a údržbu

Tab. 3.1: Technické údaje [11]

Typ	Výkon	Pracovní délka	Vzdálenost mezi hočnicemi	Zdvih	Vyložení	Světlost rozevření	Rychlost posuvu návratu pracovní	Délka	Šířka	Výška	Výkon motoru	Hmotnost
	kN	mm	mm	mm	mm	mm	mm/sec.	mm	mm	mm	kW	t
APHS 2104x60	600	2 100	1 600	210	410	475	150-130-10	2 100	1 580	2 542	5,5	5,4

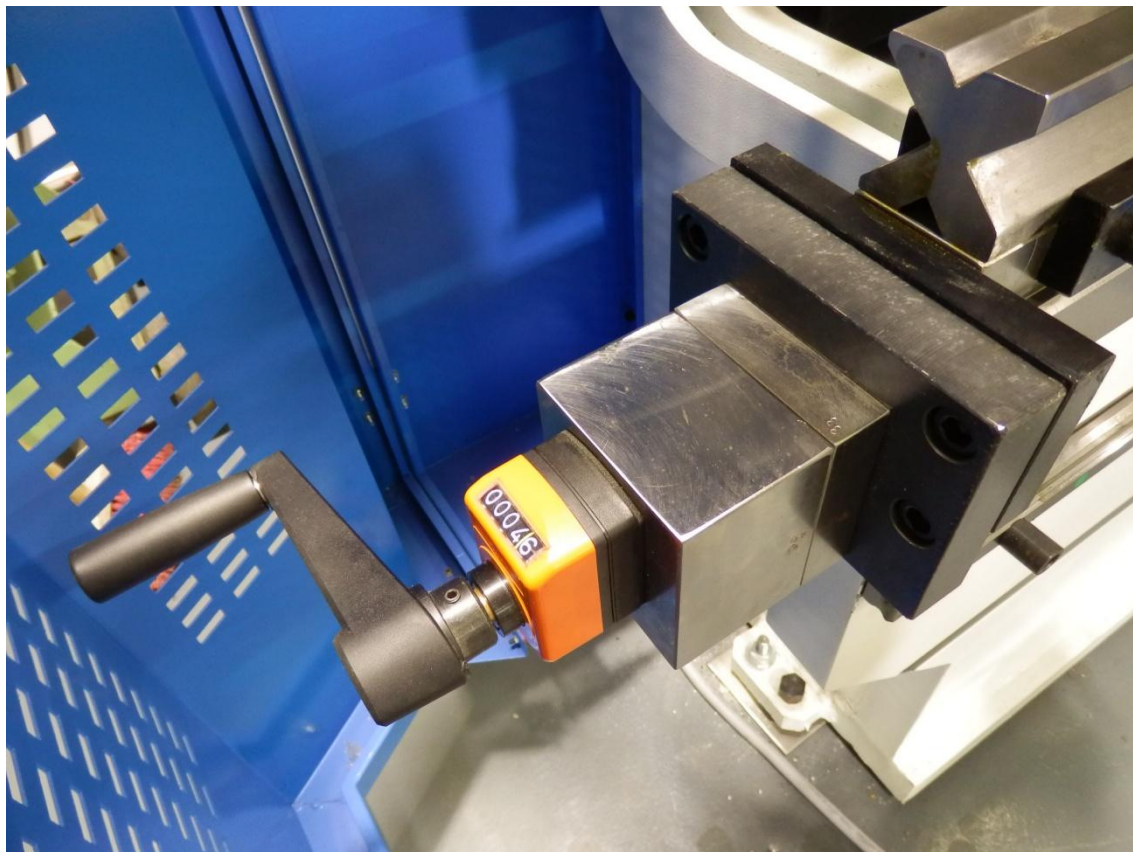
3.1.2 Programování ohybu

Programování ohraňovacích lisů probíhá u všech výrobců velmi podobně, jak již bylo popsáno v teoretické části. Zkoušený stroj disponuje pouze jedním typem horního nástroje a spodní multi-maticí, odpadají proto změny kódů nástrojů. Taktéž zadní doraz nebyl při zkoušení využit.

Do programu se tedy zadává: tloušťka materiálu, délka, požadovaný úhel, mez pevnosti v tahu a mez kluzu.

3.1.3 Manuální bombírování lisu APHS 2104 x 60

Bombírovací stůl Je připevněn na spodní nosník, dávající stolu tvar nezbytný ke kompenzaci prohnutí beranu. To vede ke konstantnímu úhlovému profilu výrobku po celé délce ohraňování. [11]



Obr. 3.2: Manuální nastavení bombírovacího stolu.

3.2 Ohýbaný materiál

Celá zkouška optimálního nastavení bombírování probíhala na plechu válcovaném za tepla z oceli ČSN 11 373, což je nelegovaná konstrukční ocel obvyklé jakosti vhodná ke svařování. Dále zde tedy budou uvedeny jeho mechanické vlastnosti a chemické složení dané normou. Kvůli mechanickým vlastnostem byla provedena statická zkouška tahem na vzorcích odebraných přímo z tabule plechu, ze které byly nastříhány vzorky pro ohýbání.

3.2.1 Chemické složení

Tab. 3.2 Chemické složení oceli dané normou ČSN 41 1373 [12]

Prvek	C	P	S	N
Chemické složení [%]	max. 0,17	max. 0,045	max. 0,045	max. 0,007
Dovolené úchytky [%]	+0,04	+0,010	+0,010	+0,002

3.2.2 Statická zkouška tahem

Statická zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 byla provedena na vzorcích o jmenovitých rozměrech 2 x 20 mm a počáteční měřené délky $L_0 = 50$ mm. Skutečné rozměry, které byly naměřeny digitálním číselníkovým úchylkoměrem, vyšly: $1,98 \pm 0,015$ mm a $20,15 \pm 0,005$ mm. Výsledky statické zkoušky tahem jsou uvedeny v tab. 3.3. Kompletní protokol ze statické zkoušky tahem včetně diagramu je uveden v příloze č. 1.

Tab. 3.3 Výsledky statické zkoušky tahem

Statistická hodnota	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A_{50mm} [%]
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	185,9	289,7	50,5
Směrodatná odchylka	2,18	3,6	1,19

3.3 Příprava ohýbaných vzorků

Pracovní délka stroje, na kterém bylo bombírování testováno je 2100 mm. Vzhledem k úspoře materiálu a snadnějšímu způsobu odměřování úhlů, byly zvoleny vzorky plechu 50 x 150 mm tloušťky 2 mm. Stříhání plechu proběhlo z tabule 1 x 2 m na tabulových nůžkách DURMA MS 2504 a nastříháno bylo 150 kusů vzorků.

3.4 Zjištění jednotek na stupnici bombírovacího stolu

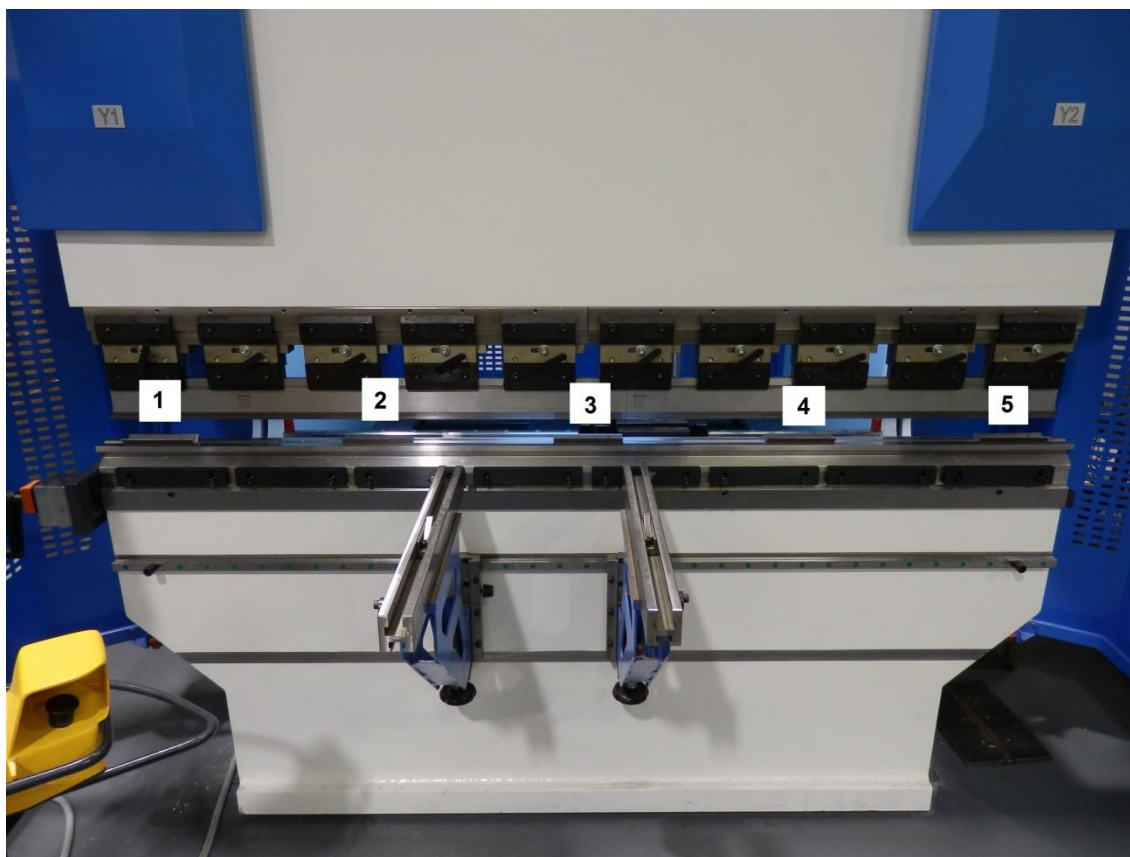
Jelikož před měřením nebyly známy jednotky čísel na stupnici bombírovacího stolu, bylo nutné vzhledem k dalšímu postupu práce zjistit, čemu tato čísla vlastně odpovídají. K tomuto určení posloužil číselníkový úchylkoměr připevněný uprostřed pracovní délky stroje na horní nástroj tak, aby se jeho dotek dotýkal spodní matrice (viz obr. 3.3). Postupným otáčením klikou bombírovacího stolu a odečítáním z číselníkového úchylkoměru bylo zjištěno, že pokud se na stupnici stolu klikou nastaví hodnota 1,0, tak tato hodnota odpovídá prohnutí stolu směrem vzhůru o 2 μm .



Obr. 3.3 měření velikosti bombírování

3.5 Ohýbání plechu

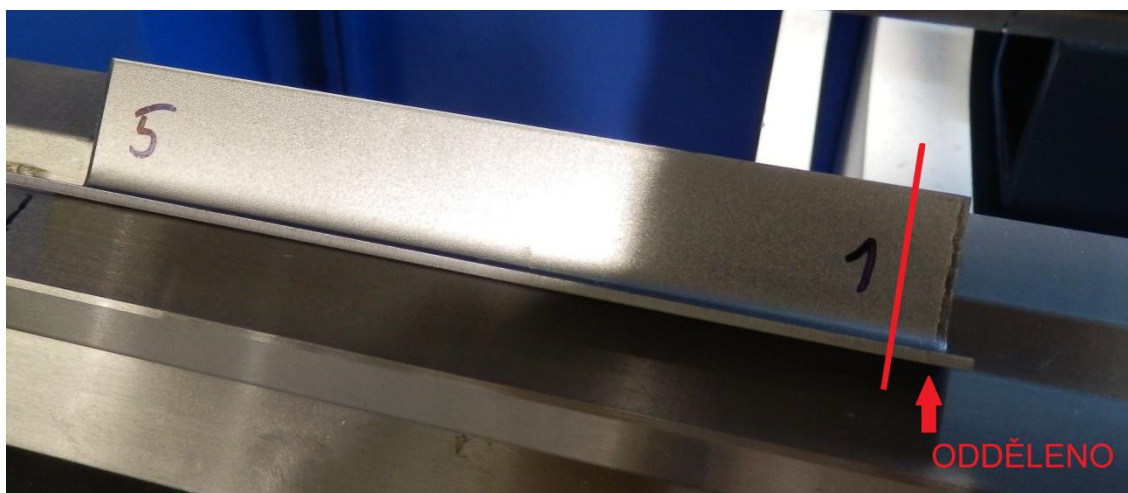
Úkolem experimentální části je zjistit, při jakém nastavení bombírování, bude zajištěn konstantní ohyb po celé délce stroje. Zjišťování probíhá pro ohýbání 5 kusů plechů dlouhých 150 mm, což odpovídá celkové délce 750 mm, na úhel 90°. Pro každou nastavenou hodnotu bombírování bylo pro získání většího statistického souboru prováděno ohýbání a následné měření vždy 5x. Plechy byly rovnoměrně rozmístěny po celé pracovní délce stolu (viz. obr. 3.4). Ohýbání začalo od nulového bombírování, kdy se na stupnici manuálního bombírování nastavilo 0 μm a následně se ohnulo 5 sérií vzorků po 5 kusech. Další velikost bombírování byla nastavena na 40 μm , což odpovídá dvaceti dílkům na stupnici stolu a opět se ohnulo 5 sérií vzorků po 5 kusech. Takto bylo nastavováno bombírování po 40 μm až do 200 μm . Tím vzniklo 5 sérií vzorků v šesti různých velikostech bombírování resp. 5 a jednoho nulového. Po každém ohnutí bylo nutné vzorky pečlivě označit, což znamená vyznačit polohu vzorku a velikost bombírování, při kterém byl ohýbán.



Obr. 3.4: Rozmístění vzorků na matrici

3.6 Měření úhlů a ostatních rozměrů

Z důvodu snímání profilové strany na metalografickém mikroskopu bylo nutné získat kvalitní hranu vzorku, z tohoto důvodu byla u všech ohnutých vzorků odříznuta malá část po celém profilu na metalografické brusce (Obr. 3.5). Otřepy, které vznikly na vzorcích, byly odstraněny jemným brusným papírem.



Obr. 3.5: Vyznačení oddělené části na metalografické brusce

K měření úhlů a dalších rozměrů ohnutých vzorků bylo použito metalografického mikroskopu Neophot 21 a softwaru NIS-Elements AR, do kterého byly přenášeny snímky z mikroskopu s desetinásobným zvětšením.



Obr. 3.6: Metalografický mikroskop Neophot 21 s PC

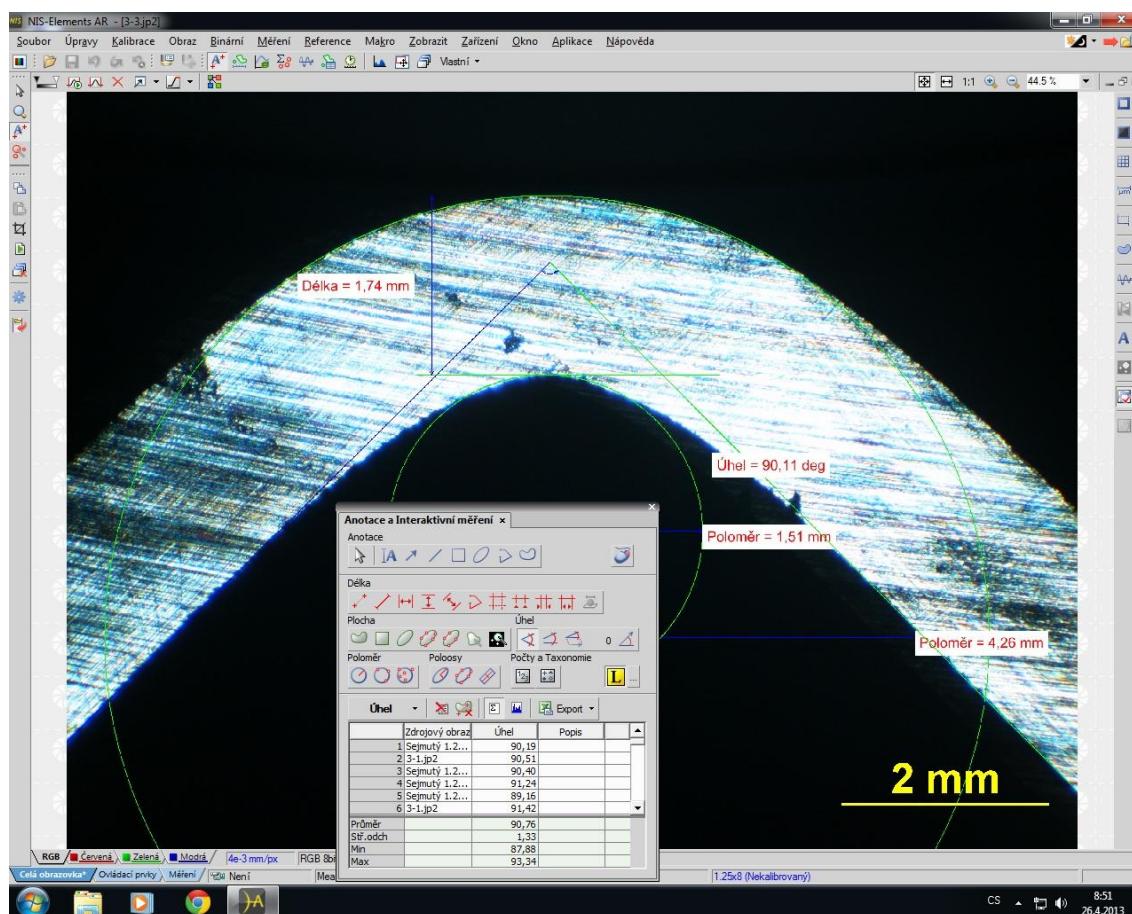
3.6.1 Měření vzorků v programu NIS-Elements AR

NIS-Elements Advanced Research nabízí úplné řešení zahrnující snímání obrazu, archivaci i analýzu. Vyvinuto pro nejnáročnější systémy, které požadují plnou kontrolu veškerých funkcí kamery a mikroskopu.

Dále software disponuje škálou přídatných nástrojů pro úpravy nasnímaných obrazů, jakými jsou například velmi účinná dekonvoluce, modul rozšíření hloubky ostroty (EDF) nebo obrazová databáze. [13]

V laboratořích katedry je program nejčastěji využíván k obrazové analýze například metalografických výbrusů apod.

V programu bylo nutné okótovat úhly na všech vzorcích a dále jsem okótoval vnitřní i vnější poloměry a tloušťku materiálu po ohnutí. Z důvodu přesnějšího měření (zobrazena větší délka ramen) jsem kótoval pouze vnitřní úhel. Ze všech naměřených hodnot byly zpracovány tabulky a následně vytvořeny průměrné hodnoty.



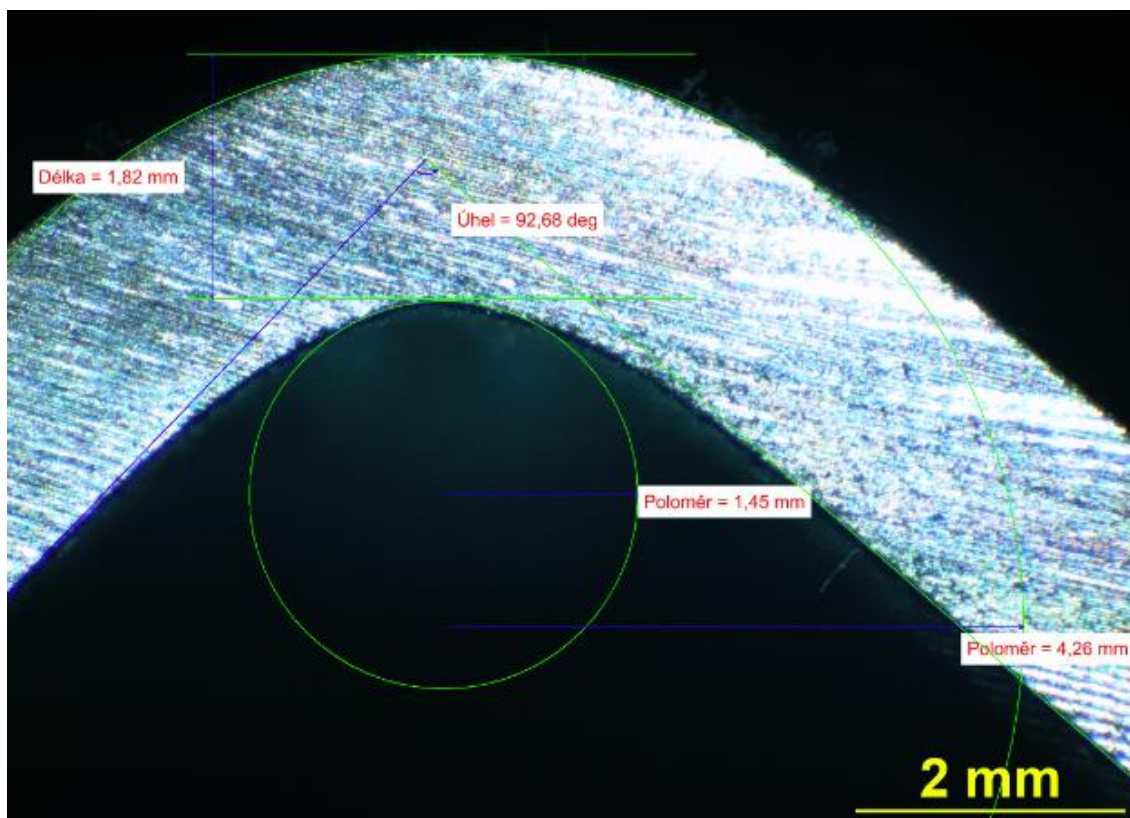
Obr. 3.7: Prostředí softwaru NIS-Elements AR

3.6.2 Naměřené hodnoty

Nejdůležitější měřenou veličinou byl úhel, který svírají ramena ohýbaných vzorků. Protože velikost těchto naměřených úhlů je podstatou experimentální části této bakalářské práce, krátce zde nejprve popíšu a zhodnotím ostatní naměřené hodnoty.

Ostatní měřené veličiny byly rádiusy (vnitřní a vnější) a tloušťka materiálu v místě ohybu.

Na každém snímku pořízeném přes mikroskop jsem pečlivě okótoval oba poloměry. Jelikož hodnoty vnitřního poloměru byly značně kolísavé, což přisuzuji nepřesnému kótování z důvodu mírné deformace materiálu na vnitřním poloměru ohybu, a i přes desetinásobné zvětšení velmi malému poloměru k přesnějšímu ustavení kótovacích čar, zpracoval jsem do tabulky pouze vnější poloměry. Velikosti průměrného vnějšího poloměru se pohybují v rozmezí od 4,01 mm do 4,41 mm. V tabulce 3.4 není zřejmá žádná vzestupná ani sestupná tendence, čili závěr je takový, že velikost bombírování nemá na velikost poloměru vnější hrany vliv.

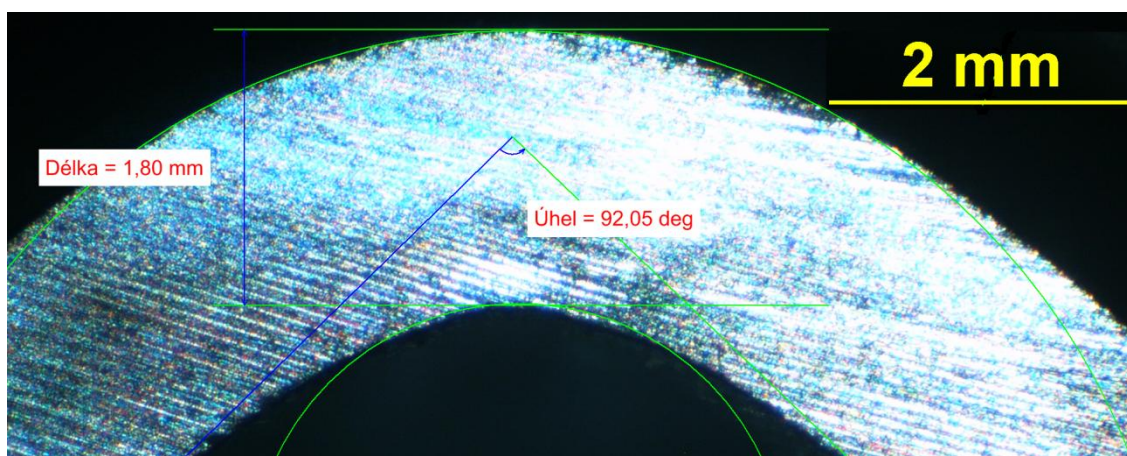


Obr. 3.8: Kótování poloměrů

Tab. 3.4: Průměrný vnější rádius

	pozice 1	pozice 2	pozice 3	pozice 4	pozice 5
bombírování 0 μm	4,16 mm	4,12 mm	4,20 mm	4,12 mm	4,17 mm
bombírování 40 μm	4,21 mm	4,21 mm	4,41 mm	4,13 mm	4,29 mm
bombírování 80 μm	4,29 mm	4,28 mm	4,29 mm	4,12 mm	4,12 mm
bombírování 120 μm	4,38 mm	4,11 mm	4,1 mm	4,02 mm	4,22 mm
bombírování 160 μm	4,24 mm	4,07 mm	4,16 mm	4,29 mm	4,37 mm
bombírování 200 μm	4,05 mm	4,01 mm	4,06 mm	4,24 mm	4,26 mm

Výchozí tloušťka materiálu byla 2 mm. Změřením tloušťky všech ohnutých vzorků (obr. 3.9) a po vytvoření průměrných hodnot (tab. 3.5), se materiál ztenčil na vrcholu ohybu v průměru na 1,79 mm.



Obr. 3.9: Kótování tloušťky materiálu v ohybu

Tab. 3.5: Průměrná tloušťka materiálu po ohybu

bombírování	pozice 1	pozice 2	pozice 3	pozice 4	pozice 5
0 μm	1,79 mm	1,83 mm	1,77 mm	1,78 mm	1,8 mm
40 μm	1,78 mm	1,86 mm	1,78 mm	1,81 mm	1,79 mm
80 μm	1,8 mm	1,79 mm	1,78 mm	1,78 mm	1,82 mm
120 μm	1,79 mm	1,78 mm	1,77 mm	1,78 mm	1,78 mm
160 μm	1,76 mm	1,78 mm	1,77 mm	1,76 mm	1,78 mm
200 μm	1,81 mm	1,79 mm	1,8 mm	1,79 mm	1,8 mm

Úhly byly nejdůležitější z celého měření, proto budou v tabulce 3.6 uvedeny všechny vypočtené průměrné hodnoty z naměřených úhlů, na všech pozicích, ze všech pěti ohýbaných sérií.

Některé úhly, zvláště ty, které výrazněji překročily 90° jsem ještě následně přeměřil univerzálním optickým úhloměrem.

Tab. 3.6: Průměrné naměřené úhly

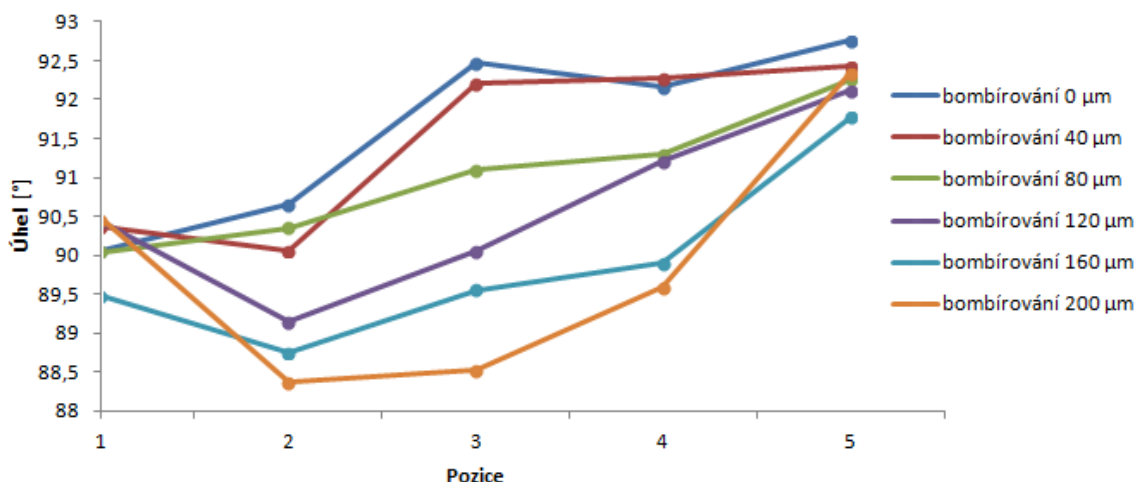
bombírování	pozice 1	pozice 2	pozice 3	pozice 4	pozice 5
0 μm	90,06°	90,66°	92,53°	92,17°	92,76°
40 μm	90,36°	90,67°	92,15°	92,26°	92,42°
80 μm	90,04°	90,35°	91,1°	91,29°	92,25°
120 μm	90,42°	89,15°	90,05°	91,20°	92,11°
160 μm	89,48°	88,75°	89,55°	89,91°	91,77°
200 μm	90,47°	88,37°	88,53°	89,59°	92,33°

Už v tabulkách z jednotlivých sérií bylo vidět, že pozice 1 a 5, resp. pozice 2 a 4 se poměrně výrazně liší, což se potvrdilo při vytvoření tabulky z vypočtených průměrných hodnot. Ačkoliv tyto pozice by měly být teoreticky ve vzájemné rovnováze, je zřejmé, především porovnáme-li úhly na pozicích 1 a 5, že tomu tak není.

Vezmeme-li v potaz, že naším požadovaným úhlem bylo 90° , je na první pohled vidět, že na pravé straně lisu není zřejmě vše v pořádku, jelikož se úhly od 90° stupňů výrazně zvětšují.

Na pozici 3, která odpovídá prostředku stolu, je zřejmé, že se zvyšující se hodnotou bombírování se zmenšuje velikost úhlu, což znamená, že bombírování zřejmě funguje správně.

Aby bylo lépe vidět, jak se na pravé straně lisu liší úhly od požadovaných 90°, vytvořil jsem graf pro jednotlivé velikosti bombírování.



Obr. 3.10: Křivky jednotlivých bombírovacích hodnot

V grafu je opět vidět, že úhly na pozici 5, která odpovídá pravé straně lisu, jsou úhly větší, než tomu je na straně levé (pozice 1).

3.7 Zhodnocení měření

Nejblíže k hodnotě, která by zajistila konstantní úhel při ohýbání zvolených vzorků, se přiblížila hodnota bombírování 120 μm.

Tato hodnota, která zřejmě leží mezi hodnotami 80 μm a 120 μm, by na grafu v ideálním případě vytvořila vodorovnou přímku na hodnotě 90°. V praxi je těžké hledané bombírovací hodnoty dosáhnout ihned. Předpoklady k tomu mají především stroje s CNC řízeným bombírováním a aktivním odměřováním úhlů.

U strojů s manuálními bombírovacími stoly, je třeba z počátku nastavování bombírování třeba počítat s výrobou zmetků.

4. Závěr

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo zjistit optimální nastavení bombírovacího stolu pro ohýbání plechu délky 750 mm, který byl rozstříhán a rozmístěn rovnoměrně po pracovní délce stroje, a tloušťky 2 mm tak, aby byl zajištěn konstantní úhel 90° po celé délce stolu.

Po změření a zpracování výsledků jsem zjistil, že vzorky umístěné v pravé polovině pracovního stolu, svými úhly neodpovídají úhlům požadovaným, ani se přibližně neshodují s úhly, které mají vzorky na levé straně stroje, případně na jeho středu. Jako nejpravděpodobnější příčina tohoto jevu se zdá být, že horní nástroj umístěn na beranu stroje zřejmě není rovnoběžný s matricí stolu po celé délce stroje. Další možností je chyba v hydraulickém systému, kdy je možné, že síla na jednotlivých válcích je vyvozena nestejně.

Odchytky v úhlech při práci na stroji je třeba dále sledovat, případně zajistit opravu u servisních techniků.

Hlavně kvůli faktu, že se hodnoty úhlů na opačných stranách stroje liší, se mi přesnou výslednou bombírovací hodnotu nepodařilo nalézt. Přesto i bombírovací hodnota, která se nejvíce přiblížila té ideální, může sloužit pracovníkům a studentům katedry ke snadnějšímu nastavování bombírovacího stolu při ohraňování materiálu s podobnými vstupními parametry.

Seznam použité literatury

- [1] LENFELD, P.: *Technologie II. - část 1*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2009. 110s. ISBN 978-80-7372-465-5, [cit. 2012-11-25]
dostupné na:
http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/index.htm
- [2] DVOŘÁK, R. a kolektiv autorů: *MM Průmyslové spektrum*, 2010/7. Strana 52, [cit. 2012-11-26], dostupné na:
[http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tvařeni_ohýbání\(1\).pdf](http://www.mmspektrum.com/content/100716_Akademie_tvařeni_ohýbání(1).pdf)
- [3] VALČÍK, J.: *Bakalářská práce*. Brno: VUT v Brně, 2008. 49s. [cit. 2012-12-5], dostupné na:
http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5890
- [4] Katalog Trumpf, l. č. : 0374417-5-11-07-F, [cit. 2013-2-18]
- [5] Technické informace společnosti Stromac s.r.o. Slaný, [cit. 2013-2-18]
dostupné na:
<http://www.stromac.com/ROLLERIuvodNASTROJEPROOHRANOVACILISYSTROMAC.htm>
- [6] Technické informace společnosti RAS Reinhardt Maschinenbau GmbH, [cit. 2013-3-6] dostupné na:
<http://www.ras-online.de/cz/stroje/ohybani/gigabend/>
- [7] Technické informace společnosti TRUMPF s.r.o, [cit. 2013-3-6]
dostupné na:
<http://www.cz.trumpf.com/produkty/obrabeci-stroje/produkty/ohybani/inovacni-technologie/bombirovaci-systemy.html>



- [8] Technické informace společnosti LA G Costruzioni Meccaniche S.R.L.
dostupné na:
[cit. 2013-3-6] , dostupné na: <http://www.la-g.it/en/prodotto.php?id=14>

- [9] Technické informace společnosti Canmet s.r.o. [cit. 2013-3-7]
dostupné na:
<http://www.canmet.cz/cz/zpracovani-plechu/lisovaci-nastroje/wila-new-standard/>

- [10] Technické informace společnosti KSK Tools s.r.o. [cit. 2013-3-7]
dostupné na:
<http://www.ksktools.cz/ohranovaci-nastroje-parma-stamp/bombirovaci-stoly>

- [11] Reklamní katalog firmy Josef Nový, [cit. 2013-3-7], dostupné na:
http://www.novy-stroje.cz/files/ohranovaci_lisy/ohranovaci_lisy_aphs_-_2010.pdf

- [12] Česká technická norma, Ocel 11373. ČSN 41 1373. Datum vydání:
1.4.1994, [cit. 2013-3-27]

- [13] Technické informace společnosti Laboratory Imaging, spol. s r. o.
[cit. 2013-4-14], dostupné na:
<http://www.nis-elements.cz/cs/products/nise-ar/>



Seznam příloh:

1. **Protokol ze statické zkoušky tahem**
2. **Materiálový list oceli ČSN 11373**
3. **Schema horního ohraňovacího nástroje**



Příloha č. 1

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

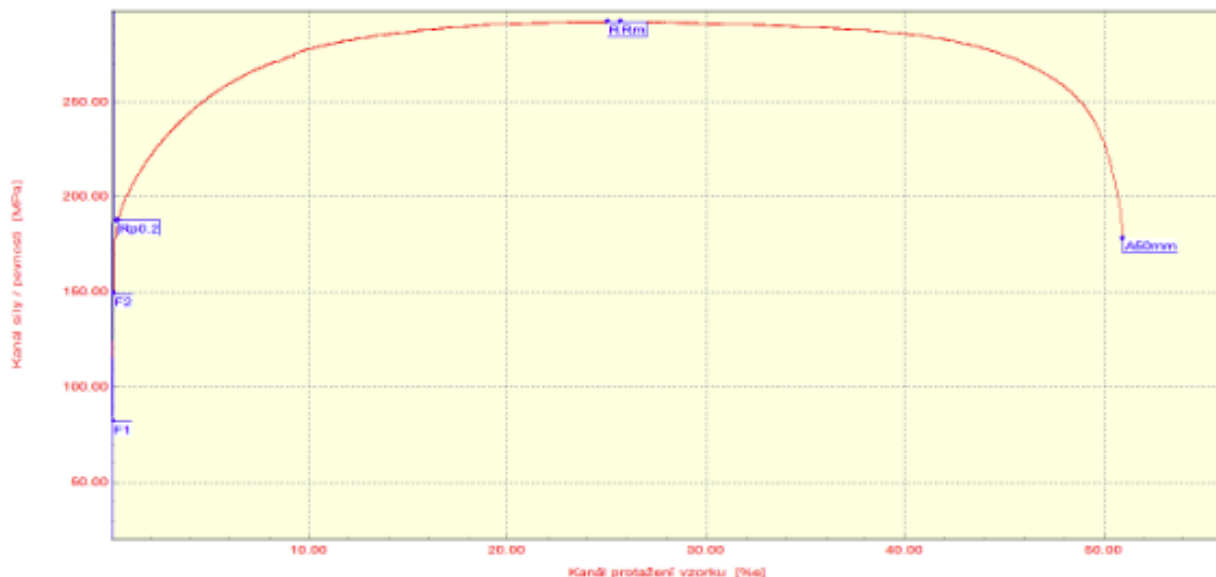
EN ISO 6892-1 VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál : ČSN 11373
Norma : ČSN EN ISO 6892-1
Rychlost zatěžování : 10 mm/min.
Rozměr vzorku : 2 x 20,15 [mm]
Vypracoval : Petr Horák
Datum zkoušky : 15. 3. 2013
Směr odebrání vzorku : 0°

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Číslo zkoušky	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
11.1	187.51	291.7	50.51
11.2	188.62	294.7	48.88
11.3	183.47	285.9	51.33
11.4	184.15	286.6	49.82
11.5	185.78	289.5	51.85

Statistická hodnota	Rp0.2 MPa	Rm MPa	A50mm %
Počet zkoušek	5	5	5
Průměrná hodnota	185.90	289.7	50.54
Směrodatná odchylka	2.18	3.6	1.19



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie
Oddělení tváření kovů a plastů
Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>



Příloha č 2. (list 1)

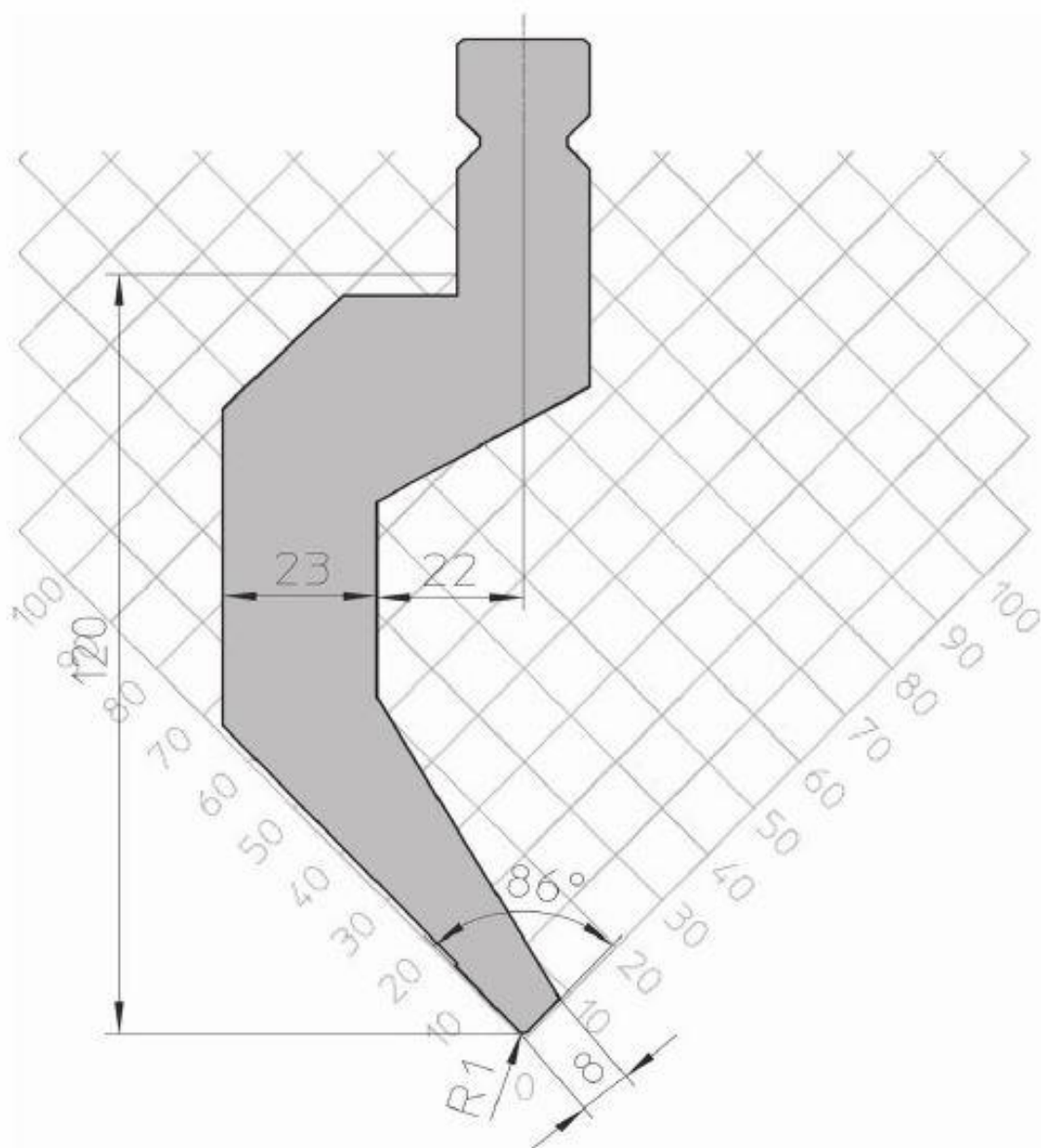
W Nr. (číslo materiálu) 1.0036		Základní ocel		OCEL Kurzname (značka) S235JRG1	
Chemické složení [hm. %] v tavebním vzorku					
C ¹⁾	Mn	P	S	N ²⁾³⁾	
max 0,17	max 1,40	max 0,045	max 0,045	max 0,007	
Chemické složení [hm. %] ve výrobku					
C ⁴⁾	Mn	P	S	N ³⁾⁵⁾	
max 0,21	max 1,50	max 0,055	max 0,055	max 0,009	
Normy DIN					
[1] DIN EN 10025-94 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí					
[2] DIN 17100 – výrobky válcované za tepla z nelegovaných konstrukčních ocelí – ozn. USt 37-2					
[3] DIN 1615 – svařované trubky z nelegovaných ocelí bez zvláštních požadavků					
[4] DIN 5512/1 – materiály pro kolejová vozidla – oceli obvyklých jakostí					
Mechanické vlastnosti					
Rozměr t, d [mm]		< 3	3–16	16–40	
Stav		tepelně nezpracováno			
Mez kluzu R _{eH} [MPa] min		235			
Mez pevnosti R _m [MPa]		360–510	340–470		
Tažnost A ₅ [%]	podél min	21	26		
	napříč min	19	24		
Nárazová práce KV [J] min		–			27
Tvrdost HB		–			
Fyzikální vlastnosti					
Hustota ρ [kg . m ⁻³]		7 850			
Technologické údaje					
SVAŘITELNOST					
vhodná ke svařování					
$C_{EV} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \leq 0,35$					
pro t ≤ 40 mm					
Použití					
Součásti konstrukční a strojů menších tlouštěk, i tavně svařované, namáhané staticky i mírně dynamicky.					
Ostatní vlastnosti					
Desoxidace: neuklidněná					



Příloha č. 2 (list 2)

Porovnání se zahraničními materiály					
ISO		EURO		Česká republika	
–	–	S235JRG1 Fe37B1FU	EN 10025-93 EN 30-69	11 373	ČSN 41 1373
Francie		Velká Británie		Rusko	
S235JRG1	NF EN 10025-94	S235JRG1 40 B	BS EN 10025-94 BS 4360-86	St3kp 18kp 16D S245	GOST 380-88 GOST 1050-88 GOST 6713-75 GOST 27772-88
USA		Japonsko		Kanada	
Gr. C Gr. 33 Gr. 36	ASTM A283 ASTM A570 ASTM A570	STKM 12C	JIS G3445-88	230G 33G	CSA G40.21M92 CSA G40.21-92
Itálie		Rakousko		Švédsko	
S235JRG1 Fe360BFU	UNI EN 10025-94 UNI 7070-82	St37RC St37RS USt360B	ÖNORM M3131-72 ÖNORM M3131-72 ÖNORM M3116	1311 1312	SS 141311 SS 141312
Polsko		Maďarsko		Norsko	
St3SX St3VX	PN H-84020-88 PN H-84020-88	Fe235B/FU A38X	MSZ 500-89 MSZ 500	12122 S235JRG1	NS 12101 NS EN 10025-94
Finsko		Čína		Španělsko	
Fe37B Fe37BP	SFS 200E SFS 1100	Q235A Q235B Q235A-F Q235 A3	GB 700-88 GB 700-88 GB 701-91 GB 13013-91 GN 1499-84	A235BFU F.6202 S235JRG1	UNE 36080-90 UNE 36080-90 UNE EN 10025-94
Bulharsko		Jugoslávie		Slovenská republika	
BSt3kp WSt3kp	BDS 2592-71 BDS 2592-71	Č.0371 Č.0345	JUS C.B0.500-89 JUS C.B4.017-62	11 373	STN 41 1373
Poznámky					
¹⁾ pro tloušťky $16 < t \leq 40$ mm je $C = \max 0,20 \%$ ²⁾ udaná hodnota může být překročena, jestliže překročení o 0,001 % N odpovídá podkročení obsahu P o 0,005 %, obsah N nesmí však přestoupit 0,012 % v tavebním vzorku ³⁾ max hodnota obsahu N neplatí, jestliže je v oceli min 0,020 % Al nebo dostatečné množství jiných, dusík vázajících, prvků ⁴⁾ pro tloušťky $16 < t \leq 40$ mm je $C = \max 0,25 \%$ ⁵⁾ udaná hodnota může být překročena, jestliže překročení o 0,001 % N odpovídá podkročení obsahu P o 0,005 %, obsah N nesmí však přestoupit 0,014 % ve výrobku					

Příloha č. 3





Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do její skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum: 24. 5. 2013

Podpis:



Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL.

If I use my thesis or grant a license for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact, in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 24. 5. 2013

Signature: